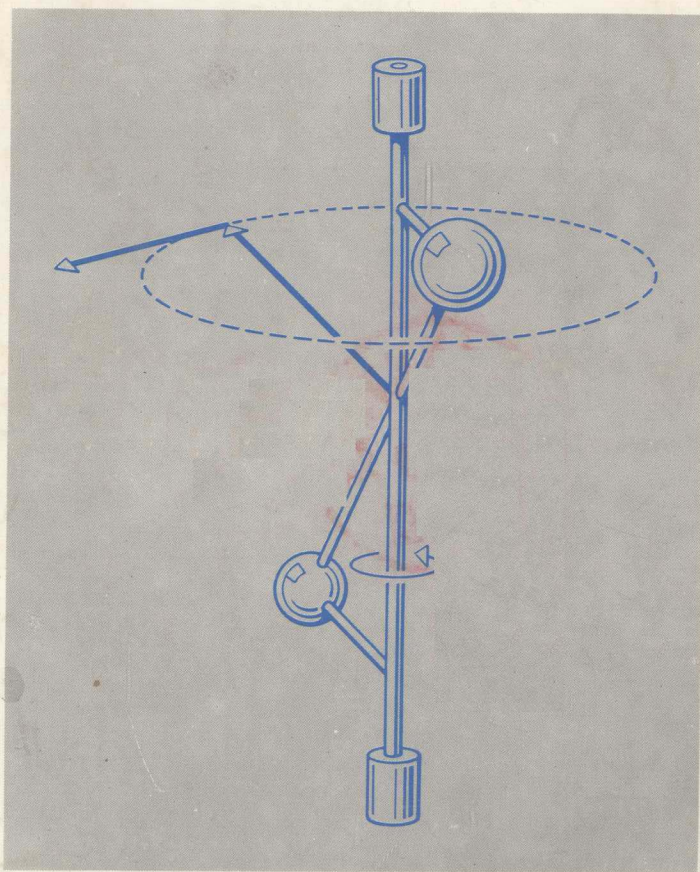


應用力學題解

靜力學與動力學

原著者：Charles E. Smith

譯述者：李麗玲



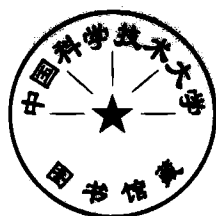
科技圖書股份有限公司

應用力學題解

靜力學與動力學

原著者：Charles E. Smith

譯述者：李麗玲



科技圖書股份有限公司

本公司經新聞局核准登記
登記證局版台業字第1123號

書名：應用力學題解
原著者：Charles E. Smith
譯述者：李麗玲
發行人：趙國華
發行者：科技圖書股份有限公司
 台北市博愛路185號二樓
 電話：3110953
 郵政劃撥帳號：15697

六十八年十月初版 特價新台幣85元

學習指引

(1) 所需的學習根基：

- ① 靜力學部分：應包括(a)三角學的演算知識，(b)初等代數，及求解聯立方程式的能力，(c)微分法，(d)使用計算器求解公式的若干熟練程序。在習第六章以後各章時，必須瞭解積分法。
- ② 動力學部分：應包括(a)不定積分與定積分法，(b)向量代數，內含幾何意義與分量和與乘積公式，(c)分解力系能力，(d)繪出正確的自由體圖。若已習過(a)古典物理導論，(b)重積分者，更佳。

(2) 學習範圍：

- ① 靜力學部分：至少每週有2小時（一學期）作為建立學習動力學與材料力學的根基。若能有每週三小時（一學期）的學習時間，可使學生對力系的分解與合成、繪自由體圖、寫出並求解平衡方程式（這是學習靜力學的主要目標）等有足夠實作機會而更具信心。若再增加額外實作機會，導引應用問題，則更增興趣。
- ② 動力學部分：至少每週有3小時（一學期），打下一工程師所必須的動力學根基。若能有每週4小時的學習時間，可使學生（平均），更切實際解其內涵。選擇題目，應視實際情況支配之。

(3) 主要項目：

- ① 靜力學部分：自第一至第五章。若學生能有適宜的準備工作。每週2小時學習必可完全學畢。
- ② 動力學部分：除(4)款所列的選擇項目外，均需學習。

(4) 選習項目：

- ① 靜力學部分：第五章以下各章內容，可按學生的特種需要分別指定研讀之。（若干部分將為其他各課程中的重要項目）。因這些章節中的相關性較小，故在讀畢第五章後，可選讀其中的若干章。
- ② 動力學部分：包括(a)球面座標，(b)數值積分，(c)不平衡轉子，(d)角衝量與角動量。

(5) 習題的指定：

每一學生必須對每節所列的習題至少做四道題至五道題。能做上六道題至八道更佳。其中必須選擇難易參半。對較具挑戰性的習題，應先

給學生們一些提示。

(6) 習題的解答：

所有全書的解答均列在本書中。但要注意，這些解答是為講師們所寫的，故非常簡單扼要，對一般學生而言，並不適宜。

著者 C. E. Smith. 司密司

目 錄

學習指引

第一章	初步概念	1
第二章	力系的分解	7
第三章	向量代數	25
第四章	靜平衡	47
第五章	特殊的應用	75
第六章	分佈力	105
第七章	虛功	143
第八章	運動學概念	155
第九章	向量微分	161
第十章	非轉動參考系運動學	171
第十一章	質點動力學	210
第十二章	質點系動力學	257
第十三章	剛體基本運動學	305
附錄A	實用數值	347
附錄B	向量分析公式	349
附錄C	線段、面積與體積性質	353



INTRODUCTORY CONCEPTS

初步概念

- 1-1 說明為何牛頓運動定律的前兩個定律可以僅用式 (1-1) 來表示。
- 1-2 由附錄 A-1 所給與的常數，試估計地球的半徑。
- 1-3 月球半徑約為地球半徑的 0.27 倍，而月球質量約為地球質量的 0.012 倍。試求月球表面上的加速度。
- 1-4 月球與地球間平均距離為 384400 km。試估計兩者間的吸引力。
- 1-5 某一太空艙正在地球與月球的連線上，而且地球與月球對其引力剛好抵消。試估計此太空艙的高度。
- 1-6 某一質量為 45 kg 的太空船距地表為 200 km。試計算其所受地心引力為多少？並計算地球受太空船的作用力後，其所產生的加速度應為若干？
- 1-7 一部汽車每加侖油可跑 19 哩，折合一公升能跑幾公里？
- 1-8 用附錄 A 的數字，定出下列各項數值：
- 一呎³ (ft³) 合幾加侖 (gal)
 - 水的密度合幾磅質量/呎³ (lbf/ft³)
 - 光速合幾哩/小時 (mi/hr)
 - 一哩 (mi) 合幾呎 (ft)
 - 地表附近的加速度合幾呎/秒² (ft/s²)

水的密度合幾克 / 公分³ (g/cm³)

1-9 將下列各項用 SI 單位表示之：

- (a) 一光年 (light-year)
- (b) 彈簧勁度為位移每吋 (in) 85 磅力 (lbf)
- (c) 支承 10 噸 (t) 物體的纜繩所受的拉力。
- (d) 懸掛 2 百萬克 (Mg) 物體繩子所受的拉力。
- (e) 一仟瓦小時 (kilowatt-hour)
- (f) 10000 馬力小時 (horsepower-hours)
- (g) 每秒 3000 呎 (ft)
- (h) 轉速每分鐘 1700 轉 (1700 rpm)
- (i) 每天 4000 桶。
- (j) 每英畝可生產 100 蒲式耳 (bushels) 小麥。
- (k) 1000 材積的木材 (一材積 = 1 吋 × 1 呎 × 1 呎)
- (l) 48000 英畝 - 呎水
- (m) 127 BTU/hr.ft. °F 之熱傳導係數 (thermal conductivity)
- (n) 每二星期 8729 圈 (furlong) (一圈 = 1/8 哩)
- (o) “速率 (speed) 為 55 哩 (mi)”
- (p) 60 磅的水壓力。
- (q) 6 碼長的礫石路。

1-10 校核下列方程式的因次是否一致：

- (a) $E = mc^2$ (愛因斯坦公式)
- (b) $m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$
 $x = x_0 \cos \sqrt{k/m} t$
 $m =$ 質量
 $x =$ 位移
 $k =$ 彈簧常數
(力除單位位移之商)

1-11 用精度都很高的天平和彈簧秤各一，如在某一地點刻畫後，帶到世界各地去，則兩者將會產生何種誤差。

1-12 當太空船加速返回地球時，我們由電視上可見到一些漂浮在其附近的物體，一般稱它們為無重量。這是否合於科技上對重量的定義？試陳述重量的另一種定義，使這種用法能得一致。

第一章 習題解答

1-1 第一運動定律不同於第二運動定律，在於其加速度爲零。

1-2 接近地球表面處。

$$f_g = mg = \frac{r m m_e}{r_e^2}$$

$$r_e^2 = \frac{r m_e}{g}$$

$$r_e = \sqrt{\frac{(6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2) (5.98 \times 10^{24} \text{ kg})}{9.81 \text{ N/kg}}}$$

$$= 6380 \text{ km}$$

1-3

$$g_{\text{月}} = \frac{0.012}{(0.27)^2} (9.81 \text{ m/s}^2)$$

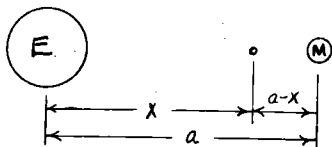
$$= 1.61 \text{ m/s}^2$$

1-4

$$f_g = \frac{(6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2) (0.012) (5.98 \times 10^{24} \text{ kg})^2}{(3.844 \times 10^8 \text{ m})^2}$$

$$= 1.94 \times 10^{20} \text{ N}$$

1-5



$$\frac{r m m_e}{x^2} = \frac{r m (0.012 m_e)}{(a-x)^2}$$

$$(a-x)^2 = 0.012 x^2$$

$$a-x = \pm 0.0195 x$$

$$x = 0.9013 a, \quad 1.123 a$$

當 $x = 0.9013 a$ 時，力剛好平衡。

當 $x = 1.123 a$ 時，力有同樣的大小，但作用在同一方向上。

$x = 346,000 \text{ km}$ ，高度 = 340 mm

$$\begin{aligned} 1-6 \quad f_g &= \left(\frac{6380}{6580} \right)^2 (45,000 \text{ kg})(9.81 \text{ N/kg}) \\ &= 4.15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$a_s = \frac{415,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{5.98 \times 10^{24} \text{ kg}} = 6.94 \times 10^{-20} \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} 1-7 \quad f.c. &= \frac{1 \text{ gal}}{19 \text{ mi}} \frac{(3.785 \text{ l/gal})(1000 \text{ m/km})}{(5280 \text{ ft/mi})(0.3048 \text{ m/ft})} \\ &= 0.124 \text{ l/km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1-8 \quad & (1 \text{ ft}^3)(0.3048 \text{ m/ft})^3 = 0.02832 \text{ m}^3 \\ & \frac{(1000 \text{ kg/m}^3)(0.3048 \text{ m/ft})^3}{(0.4536 \text{ kg/lbm})} = 62.4 \text{ lbm/ft}^3 \\ & \frac{(0.2998 \text{ Gm/s})(10^6 \text{ km/Gm})(3600 \text{ s/h})}{1.609 \text{ km/mi}} \\ &= 6.71 \times 10^8 \text{ mi/h} \\ & \frac{(1 \text{ n} \cdot \text{mi})(1.852 \text{ km/n} \cdot \text{mi})(1000 \text{ m/km})}{0.3048 \text{ m/ft}} = 6076 \text{ ft} \\ & \frac{9.81 \text{ m/s}^2}{0.3048 \text{ m/ft}} = 32.2 \text{ ft/s}^2 \\ & \frac{(1 \text{ Mg/m}^3)(10^6 \text{ Mg/g})}{(100 \text{ cm/m})^3} = 1 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$1-9 \quad (a) \quad (0.2998 \text{ Gm/s})(3600 \text{ s/h})(24 \text{ h/day})(365 \text{ day/yr}) = 9450 \text{ Tm}$$

$$(b) \quad \frac{(85 \text{ lbf/in})(4.448 \text{ N/lbf})(12 \text{ in/ft})}{0.3048 \text{ m/ft}} = 1.49 \text{ kN/m}$$

$$(c) \quad f_g = mg$$

$$= (10 \text{ ton})(2000 \text{ lbm/ton})(0.4536 \text{ kg/lbm}) \cdot (9.81 \text{ N/kg})$$

$$= 89.0 \text{ kN}$$

$$(d) \quad f_g = (2000 \text{ kg})(9.81 \text{ N/kg}) = 19.6 \text{ kN}$$

$$(e) \quad (1000 \text{ W} \cdot \text{h})(3600 \text{ s/h}) = 3.6 \text{ MJ}$$

$$(f) \quad (10,000 \text{ HP} \cdot \text{h})(745.7 \text{ W/HP})(3,600 \text{ s/h}) = 26.8 \text{ GJ}$$

$$(g) \quad (3,000 \text{ ft/s})(0.3048 \text{ m/ft}) = 914.4 \text{ m/s}$$

$$(h) \quad (1,700 \text{ rev/min}) \frac{(2\pi \text{ rad/rev})}{60 \text{ s/min}} = 178 \text{ rad/s}$$

$$(i) \quad \frac{(4000 \text{ bbl/day})(0.159 \text{ m}^3/\text{bbl})}{(24 \text{ h/day})(3600 \text{ s/h})} = 0.00736 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(j) \quad \frac{(100 \text{ bu/acre})(1.2445 \text{ ft}^3/\text{bu})(0.3048 \text{ m/ft})^3}{4047 \text{ m}^2/\text{acre}}$$

$$= 0.871 \text{ mm}$$

$$(k) \quad (1000 \text{ bdf t})(144 \text{ in}^3/\text{bdf t}) \left(\frac{0.3048 \text{ m}}{12 \text{ in}} \right)^3 = 2.36 \text{ m}^3$$

$$(l) \quad (48,000 \text{ acre} \cdot \text{ft})(4,047 \text{ m}^2/\text{acre})(0.3048 \text{ m/ft}) = 5.92 \times 10^7 \text{ m}^3$$

$$(m) \quad \frac{(127 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F})(1.055 \text{ kJ/Btu})(1.8 ^\circ\text{F/K})}{(3600 \text{ s/h})(0.3048 \text{ m/ft})}$$

$$= 0.220 \text{ kJ/s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$$

$$(n) \quad \frac{(8729 \text{ flg/fnt})(660 \text{ ft/flg})(0.3048 \text{ m/ft})}{(14 \text{ days/fnt})(24 \text{ h/day})(3600 \text{ s/h})}$$

$$= 1.45 \text{ m/s}$$

$$(o) \quad \frac{(55 \text{ mi/h})(1.609 \text{ km/mi})}{3600 \text{ s/h}} = 24.6 \text{ m/s}$$

$$(p) \quad \frac{(60 \text{ lbf/in}^2)(4.448 \text{ N/lbf})}{(0.0254 \text{ m/in})^2} = 414 \text{ kPa}$$

$$(q) \quad (6 \text{ yd}^3)[(3 \text{ ft/yd})(0.3048 \text{ m/ft})]^3 = 4.59 \text{ m}^3$$

- 1-10 (a) $E : (ML/T^2)L = ML^2/T^2$
 $mc^2 : M(L/T)^2 = ML^2/T^2$ } ok
- (b) $m \frac{d^2 x}{dt^2} : ML/T^2$
 $kx : [(ML/T^2)/L]L = ML/T^2$ } ok
- $\sqrt{k/m} t : [(ML/T^2 L)/M]^{\frac{1}{2}} T = 1$ } ok
- (c) $\sqrt{a/g} : [L/(L/T^2)]^{\frac{1}{2}} = T$ ok
- (d) $f_c : ML/T^2$
 $\frac{mv^2}{r} : M(L/T)^2/L = ML/T^2$ } ok
- (e) $P : (ML/T^2)/L^2 = M/LT^2$
 $\rho g z : (M/L^3)(L/T^2)(L) = M/LT^2$ } ok
- (f) $y : L$
 $a = \frac{S_0}{\rho A g} : \frac{ML/T^2}{(M/L^3)(L^2)(L/T^2)} = L$ } ok
- $\frac{x}{a} : \frac{L}{L} = 1$ ok
- (g) $A : L^2$
 $\int y dx : (L)(L) = L^2$ } ok

1-11 由於各地 g 值的不同，彈簧秤會有大約 0.5 % 的誤差，而天平則沒有。

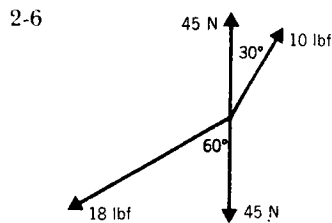
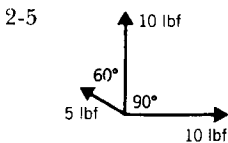
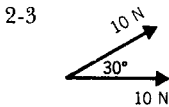
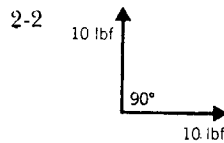
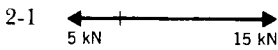
1-12 每個物體都受重力作用，因此每一物體得依技術定義其重量。若以太空船為固定，附近物體對參考欄 (reference frame) 的相對的加速度為零。如是稱之為無重 (weightless)。要使此一名詞成一致性，重量應定義成“物體對某一參考欄作無運動時所需的力”。



RESOLUTION OF FORCE SYSTEMS

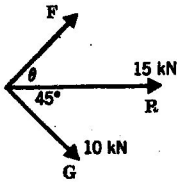
力系的分解

2-1 至 2-6，由已知力系決定合力的大小和方向。

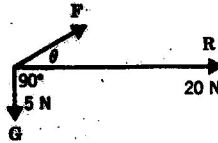


2-7至2-12, 求未知力 F 的大小和方向, 使與已知力 G 相加後其合力為 R 。

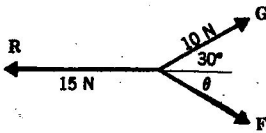
2-7



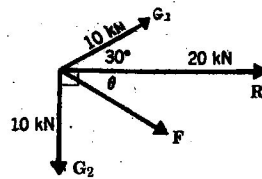
2-8



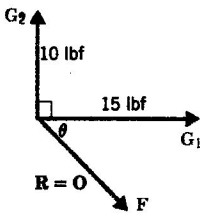
2-9



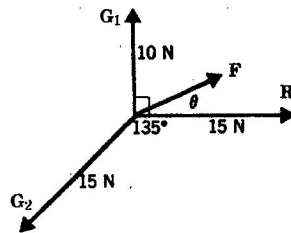
2-10



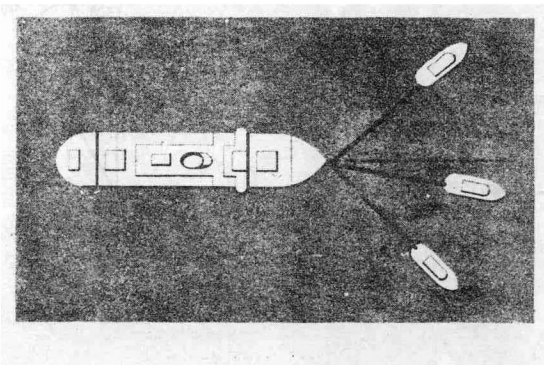
2-11



2-12

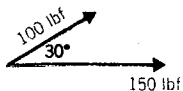


2-13 如圖所示, 三艘拖船拖一大船, 各拖線施力為 5 kN , 求其合力。

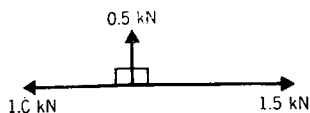


2-14至2-17，用圖 2-1 之平行四邊形加法律，將已知力各按比例繪出，然後用圖解法求其合力。

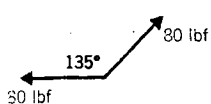
2-14



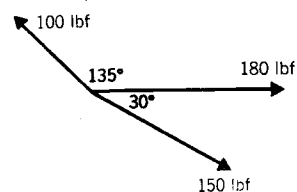
2-15



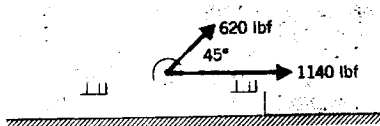
2-16



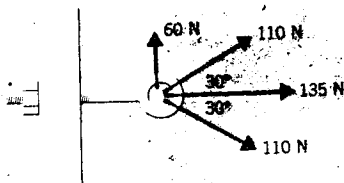
2-17



2-18 求下圖作用於軸承之合力。



2-19 求下圖作用於螺絲眼上之合力。



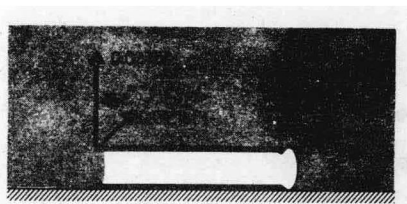
2-20 求下圖跳水板尾端之合力。



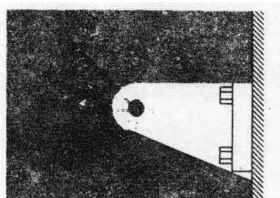
2-21 求下圖作用於太空旋轉車 (skycycle) 之合力。



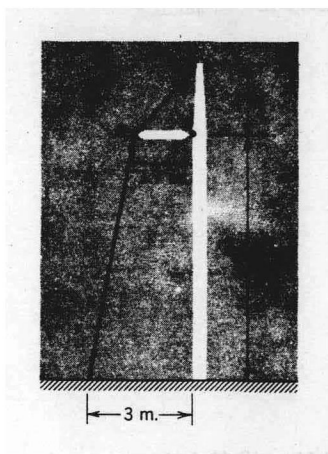
2-22 打開書面時，所使用力之合力為若干？



2-23 求作用於托架 (bracket) 上之合力。

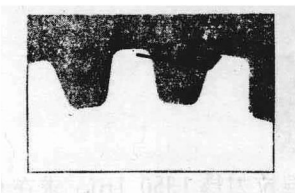


2-24 展開桿 (spreader) 和支索 (stays) 經常用來加強桅桿 (masts) 的強度。如支索上半部的拉力為 600 N，則支索下半部的拉力為若干才能使作用於展開桿之垂直分力為零？作用於展開桿之合力為若干？



2-25 一火箭作垂直發射，其推力為 20,000 磅，水平風力為 2000 磅，則作用於火箭之合力為若干？

2-26 如圖為作用於齒輪上之力，求其合力。



2-27 求互相垂直三力之合力。

